

Antenne agile en fréquence et en rayonnement utilisant un matériau magnéto-diélectrique

L. HUITEMA¹, T. REVEYRAND¹, F. BEN AHMED DAHO¹, M. KOUBEISSI¹, C. DECROZE¹, T. MONEDIERE¹, P. QUEFFELEC² et J-L MATTEI²

¹Laboratoire XLIM UMR 6172-CNRS, Faculté des Sciences et Techniques, 123 avenue Albert Thomas, 87060 Limoges
²Lab-STICC, UMR CNRS 3192, UEB, Université de Bretagne Occidentale, 6 av. Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest

Résumé

Ce papier présente la conception originale d'une antenne ultra miniature accordable en fréquence dédiée à des applications basses fréquences. La miniaturisation est obtenue par l'utilisation d'un matériau magnéto-diélectrique et l'accordabilité en fréquence par une diode varactor judicieusement choisie et caractérisée. Une étude complète montrera l'avantage d'utiliser un matériau magnéto-diélectrique. De très bonnes performances aussi bien en simulations qu'en mesures ont été obtenues. Enfin, l'agilité en diagramme est obtenue en intégrant deux des antennes étudiées sur une même carte PCB. Ses performances en diversité sont caractérisées en chambre réverbérante.

1. Introduction

Face à la volonté de miniaturiser les terminaux mobiles, la diminution de la taille de l'antenne devient un enjeu primordial [1], notamment si l'application visée est une application basses fréquences. L'étude présentée dans ce papier est faite dans le cadre du projet ANR NAOMI. Le but de ce projet est d'intégrer une antenne miniature au sein d'un terminal mobile de type Laptop (230 x 130 mm) recevant la télévision numérique terrestre (TNT) mobile. La bande de fréquences visée est la bande DVB-H allant de 470 MHz à 862 MHz, elle se compose de 49 canaux de 8 MHz. De plus, afin d'améliorer la qualité de la réception du signal, deux antennes sont intégrées de part et d'autre de la carte PCB afin d'obtenir une diversité du diagramme de rayonnement.

Dans ce papier, une antenne basée sur le modèle d'une antenne IFA (Inverted F Antenna) 3D est présentée. L'originalité de cette antenne est double puisqu'en plus d'utiliser un matériau magnéto-diélectrique, elle intègre une diode varactor.

L'utilisation d'un matériau magnéto-diélectrique permet la diminution de l'élément rayonnant sans diminuer la largeur de la bande passante, un paragraphe s'attachera à mettre en évidence ce principe.

La bande DVB-H étant décomposée en 49 canaux, l'intégration d'une diode varactor judicieusement choisie et positionnée permettra de balayer fréquemment l'intégralité de la bande par canaux de 8 MHz minimum.

La méthode de conception de l'antenne ainsi que les principaux résultats en mesure et en simulation seront montrés. Une discussion sur ses performances en diversité sera faite.

2. Intérêt de l'utilisation d'un matériau magnéto-diélectrique dans une antenne

Afin de montrer l'intérêt de l'utilisation d'un tel matériau, une antenne classique de type IFA est considérée. Cette antenne sera chargée par un matériau, trois cas sont alors envisagés :

-L'antenne est chargée par le matériau magnéto-diélectrique $\text{Ni}_{0,5}\text{Zn}_{0,3}\text{Co}_{0,2}\text{Fe}_2\text{O}_4$ [2] d'indice optique n ($n = \sqrt{\epsilon' \cdot \mu'}$) et dont les caractéristiques électromagnétiques sont représentées Figure 1.

-L'antenne est chargée par un matériau magnéto-diélectrique sans perte de même indice optique n ($n = \sqrt{\epsilon'_{\text{magneto}} \cdot \mu'_{\text{magneto}}}$).

-L'antenne est chargée par un matériau purement diélectrique sans perte de même indice optique n ($n = \sqrt{\epsilon'_{\text{dielectric}}}$).

Le tableau 1 résume les principaux résultats obtenus.

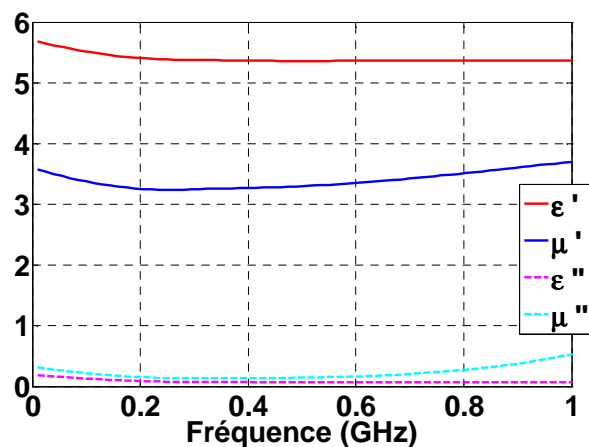


Figure 1. Caractéristiques électromagnétiques du matériau

	Diélectrique SANS PERTE	Magnéto- diélectrique SANS PERTE	Magnéto- diélectrique (Figure 1)
Fréquence de résonance	970 MHz	972 MHz	972 MHz
Bande passante (S11 < -6dB)	4.12%	6%	7.14%
Efficacité totale	83%	83%	68%
Gain réalisé max	2.8 dB	2.8 dB	1.95 dB

Tableau 1. Comparaison des différents résultats obtenus pour les deux matériaux

L'apport du matériau magnéto-diélectrique apparaît si l'on compare les bandes passantes de l'antenne avec des matériaux sans pertes. Celle-ci est de 4.12% dans le cas du matériau diélectrique et de 6% pour le magnéto-diélectrique. Il est à noter que les pertes intrinsèques du matériau accroissent cette bande passante. Elles sont également à l'origine d'une baisse de l'efficacité et donc du gain réalisé de l'antenne.

3. Conception et performances de l'antenne

3.a. Structure de l'antenne

La structure de l'antenne est basée sur celle d'une antenne IFA. En effet, sa structure est similaire à une antenne quart d'onde avec un retour à la masse facilitant l'adaptation. L'originalité consiste ici à replier le brin métallique sur le matériau magnéto-diélectrique comme le montre la Figure 2. L'introduction d'une diode varactor se fait au bout du brin rayonnant en rebouclant sur le plan de masse. Cette diode varactor permet d'introduire un effet capacitif contrôlable en tension afin de rendre l'antenne accordable en fréquence.

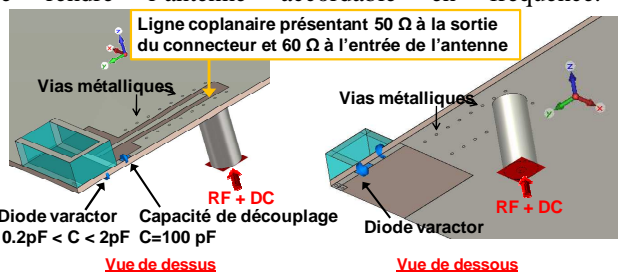


Figure 2. Structure de l'antenne

3.b. Mesure de la diode varactor

Avant la réalisation du prototype de l'antenne et afin de prédire plus précisément les résultats de mesure, la diode varactor utilisée a été caractérisée.

En effet, les données du constructeur restent souvent très vagues et certaines données fondamentales pour une application antenne manquent. Par exemple, la plage de variation de la capacité et le facteur de qualité de la diode (utile au calcul de la résistance série de la diode) sont souvent donnés aux alentours de 1 MHz. Entrer ces valeurs dans le simulateur CST Microwave Studio pourrait engendrer des erreurs sur les résultats de simulations. C'est pourquoi, afin de mieux appréhender les résultats électromagnétiques de l'antenne aux fréquences souhaitées, la diode varactor a été caractérisée en paramètres [S] pour plusieurs points de polarisation. Pour cela, un pied de test a spécialement été

conçu (Figure 3): il comprend les éléments nécessaires à un étalonnage TRL de l'analyseur de réseau dans le plan de la diode. L'ensemble des paramètres [S] (fonction de la tension DC appliquée à la diode) est alors intégré dans la simulation faite sous CST Microwave Studio.

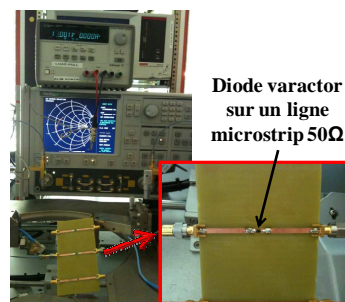


Figure 3. Caractérisation de la diode

3.c. Paramètres S mesurés et simulés

Finalement, l'antenne possède des dimensions égales à $13 \times 7 \times 4$ mm soit $\lambda_0/49 \times \lambda_0/91 \times \lambda_0/160$ à 470 MHz. La Figure 4, représentant les paramètres S11 simulés pour différentes polarisation de la diode varactor ($2V < V < 20V$), montre que l'antenne est adaptée sur l'intégralité de la bande DVB-H. Le prototype de l'antenne (Figure 5) a été caractérisé en chambre anéchoïde. La Figure 6 montre les paramètres S11 mesurés. Les mesures sont en très bon accord avec la simulation. En effet, les mesures montrent une bande d'adaptation allant de 456 MHz à 875 MHz pour $1.6V < V < 21V$. Les bandes instantanées sont supérieures ou égales à 8 MHz à -6 dB, les normes de l'application DVB-H sont donc respectées.

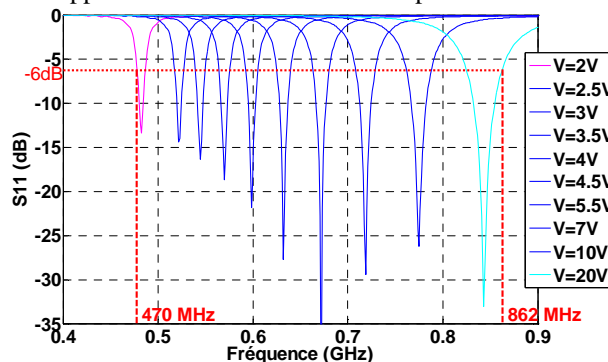


Figure 4. S11 simulés pour différentes polarisations

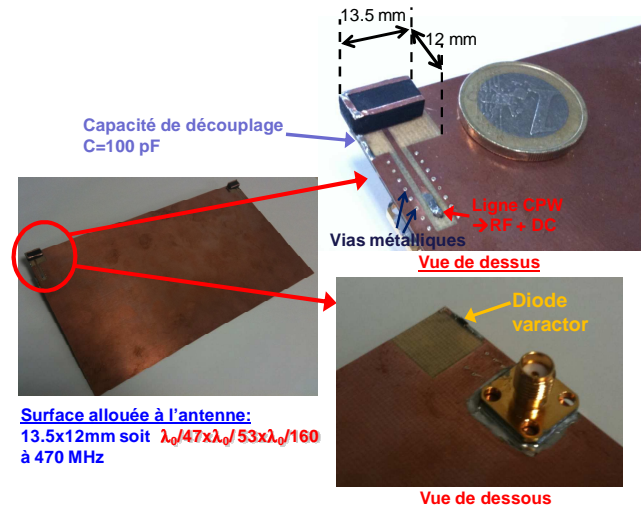


Figure 5. Prototype de l'antenne

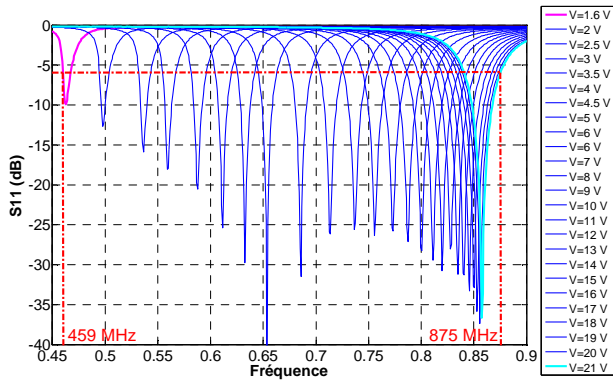


Figure 6. S11 mesurés pour différentes polarisations de la diode varactor

3.d. Efficacités et gains réalisés maximum

Dans un premier temps, afin de mieux cerner les bandes étudiées, le tableau 2 présente les paramètres S11 mesurés avec les gains réalisés maximum correspondants pour quatre polarisations de la diode.

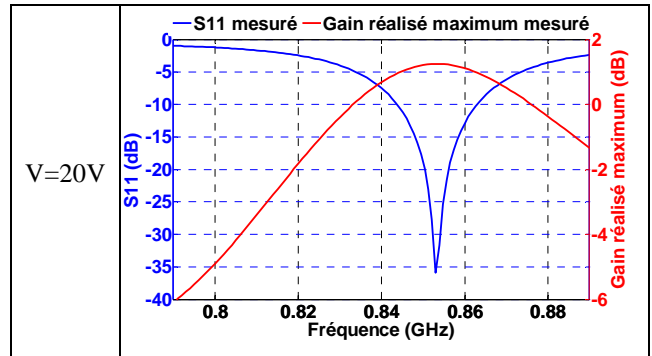
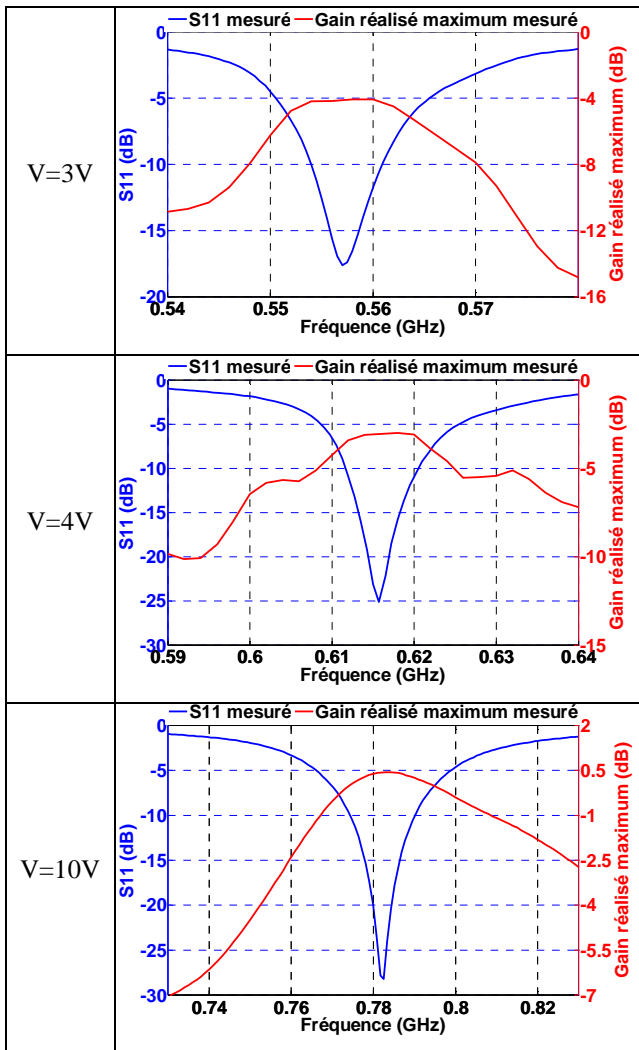


Tableau 2. Paramètres S11 de l'antenne avec les gains réalisés correspondants

Le tableau 3 représente la comparaison des gains réalisés et des efficacités simulés et mesurés. Comme le montre ce tableau, il existe une très bonne concordance entre la mesure et la simulation.

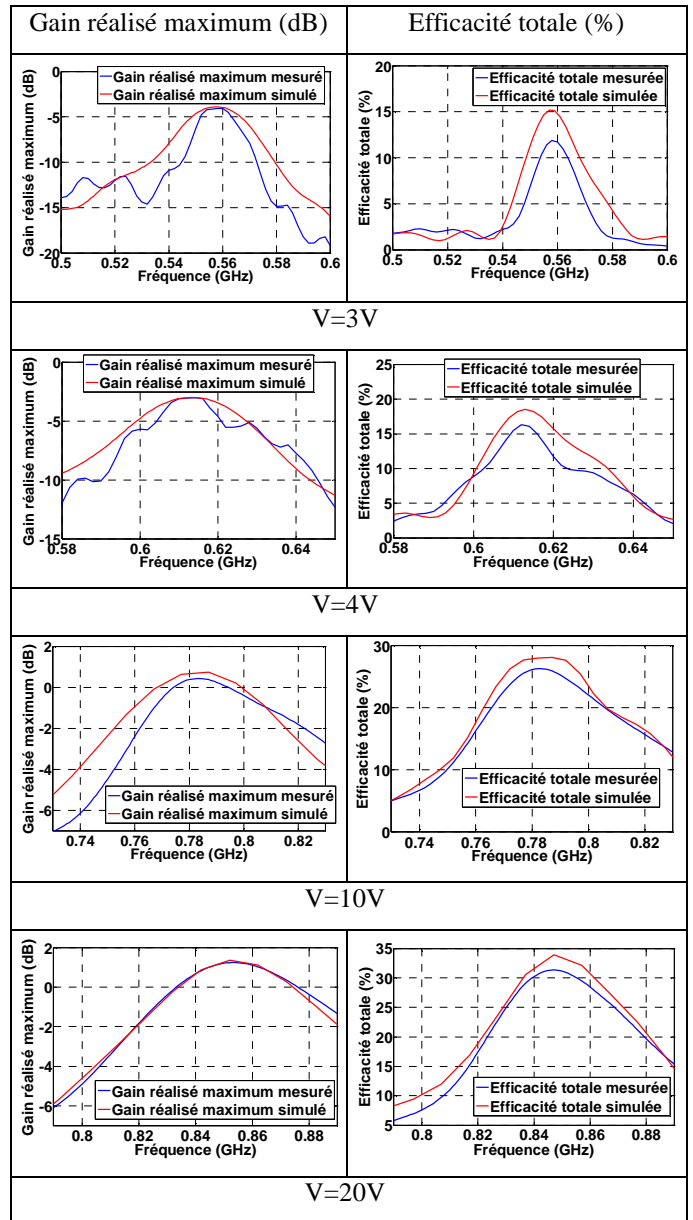


Tableau 3. Comparaison des gains réalisés et des efficacités simulés et mesurés

La Figure 7 résume les résultats précédents en montrant les différents gains réalisés maximum mesurés pour les quatre polarisations de la diode. Par interpolation et extrapolation de ces différents résultats de mesure, l'allure du gain réalisé maximum est représentée en rouge sur la Figure 7. En vert est représenté le gain réalisé maximum requis par la norme DVB-H. Le gain réalisé mesuré de l'antenne est donc toujours supérieur à celui défini par la norme DVB-H.

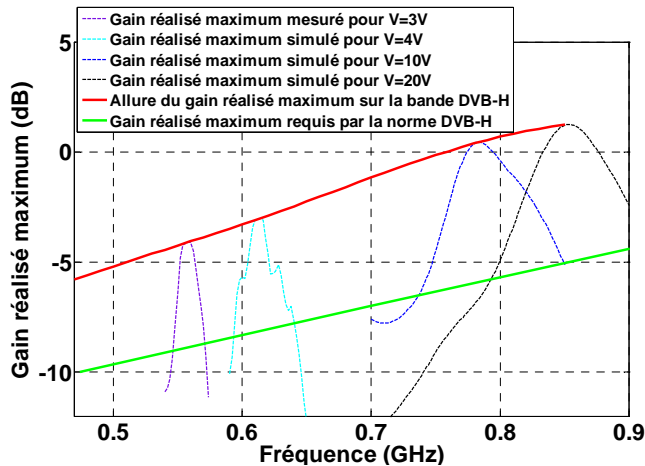


Figure 6. Allure du gain réalisé maximum mesuré

3.e. Efficacités et gains réalisés maximum

Le tableau 4 représente les diagrammes de rayonnements de l'antenne pour les deux polarisations extrêmes de la diode varactor dans le plan xOy (plan contenant le plan de masse).

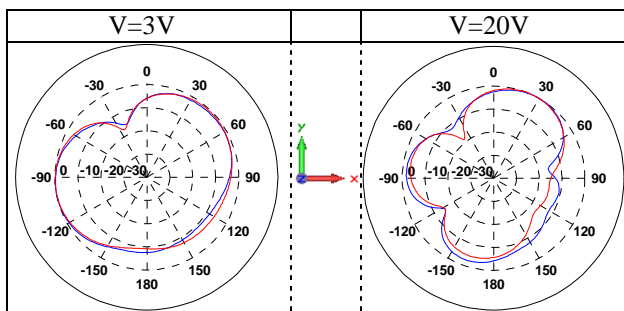


Tableau 4. Diagrammes de rayonnement simulés (rouge) et mesurés (bleu).

3.f. Etude en diversité

L'intégration de deux antennes sur la carte PCB permet de caractériser cette antenne en diversité. Cette étude montre que les antennes présentent des diagrammes de rayonnement décorrélés et des gains de diversité effectifs supérieurs ou égaux à 4 dB selon la polarisation de la diode varactor considérée. Notons que ce gain est déterminé en prenant comme antenne de référence une antenne dipôle classique d'efficacité supérieure à 95% (celle-ci mesure par exemple environ 30 cm à 555 MHz).

4. Conclusion

Les résultats d'une étude approfondie sur l'apport d'un matériau magnéto-diélectrique au sein d'une antenne ont été montrés dans un premier temps.

Cette étude a abouti à la conception d'une antenne présentant en plus de la reconfiguration du diagramme de rayonnement, une agilité en fréquence permettant de couvrir l'intégralité de la bande DVB-H allant de 470 MHz à 862 MHz. La surface allouée à la partie antennaire est ultra miniature puisqu'elle est de l'ordre de 13.5 mm x 12 mm soit $\lambda_0/47 \times \lambda_0/53$ à 470 MHz. L'intégration de fichiers touchstone issus de la mesure de la diode lors de la simulation électromagnétique de cette antenne a abouti à une très bonne corrélation entre les performances mesurées et celles simulées. Ces résultats montrent une antenne entrant en totale adéquation avec les exigences fixées par la norme DVB-H d'une part en terme de couverture de bande puisque toute la bande DVB-H est couverte avec des largeurs de canaux supérieures à 8MHz, et d'autre part en terme de gain réalisé. En effet, l'allure du gain réalisé maximum mesuré montre que celui-ci reste toujours supérieur à celui fixé par la norme.

Finalement, cette antenne est parmi l'une des rares antennes ultra miniature utilisant à la fois un matériau magnéto-diélectrique ainsi qu'une diode varactor.

5. Bibliographie

- [1] Skrivervik, A.K.; Zurcher, J.-F.; Staub, O.; Mosig, J.R.; , "PCS antenna design: the challenge of miniaturization," *Antennas and Propagation Magazine, IEEE*, vol.43, no.4, pp.12-27, Aug 2001
- [2] D. Souriou; J-L. Mattei; A. Chevalier; P. Queffelec; , "Influential parameters on electromagnetic properties of nickel-zinc ferrites for antenna miniaturization," *J. Appl. Phys.* 107, 09A518, 2010